



## DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITE DE COOPERATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(51) Classification internationale des brevets <sup>7</sup> :

G08G 5/04

A2

(11) Numéro de publication internationale:

WO 00/39775

(43) Date de publication internationale:

6 juillet 2000 (06.07.00)

(21) Numéro de la demande internationale: PCT/FR99/03186

(22) Date de dépôt international: 17 décembre 1999 (17.12.99)

(30) Données relatives à la priorité:

98/16345

23 décembre 1998 (23.12.98)

FR

(81) Etats désignés: US, brevet européen (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).

Publiée

*Sans rapport de recherche internationale, sera republiée dès réception de ce rapport.*

(71) Déposant (pour tous les Etats désignés sauf US): THOMSON-CSF SEXTANT [FR/FR]; Aéroport de Villacoublay, F-78140 Vélizy Villacoublay (FR).

(72) Inventeur; et

(75) Inventeur/Déposant (US seulement): AYMERIC, Bruno [FR/FR]; Thomson-CSF Propriété Intellectuelle, Dépt. Brevets, 13, avenue du Prés. Salvador Allende, F-94117 Arcueil Cedex (FR).

(74) Mandataire: GUERIN, Michel; Thomson-CSF Propriété Intellectuelle, Dépt. Brevets, 13, avenue du Prés. Salvador Allende, F-94117 Arcueil Cedex (FR).

(54) Title: ASSISTANCE SYSTEM FOR AVOIDING TERRAIN COLLISION FOR AN AIRCRAFT

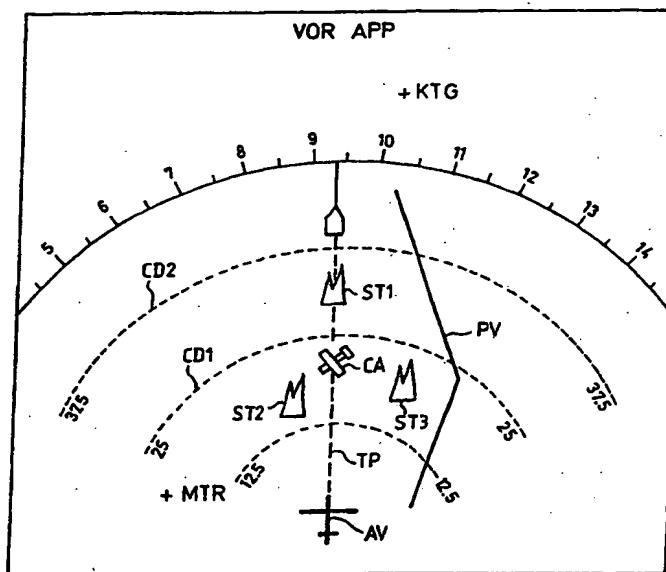
(54) Titre: SYSTEME D'AIDE A L'EVITEMENT DE COLLISIONS D'AERONEFS AVEC LE TERRAIN

## (57) Abstract

The invention concerns steering and air navigation assistance. More particularly it concerns a system to provide an aircraft pilot with instant assessment of terrain collision risks, comprising means for computing a forecast trajectory of the aircraft from its current survey point, a ground database including data concerning terrain position and altitude, and means for determining a risk of collision between the aircraft and the terrain on the basis of the forecast trajectory and the data concerning the terrain in the proximity of said trajectory. The system comprises means for displaying simultaneously on a screen a plot of the forecast trajectory (TP) and a symbol of terrain collision risk (ST1, ST2, ST3) representing the nature of the risk incurred, the symbol of risk being located on the screen, with respect to the plot of the forecast trajectory, at a position corresponding to the real relative position with respect to the forecast trajectory, of an obstacle creating said risk.

## (57) Abrégé

L'invention concerne l'aide au pilotage et à la navigation aérienne. Pour permettre au pilote d'un aéronef d'avoir une appréciation instantanée des risques de collision avec le terrain, on propose un système comprenant des moyens pour calculer une trajectoire prédite de l'aéronef à partir de son point de localisation actuel, une base de données de terrain comprenant des informations de position et d'altitude de terrain, et des moyens pour déterminer un risque de collision entre l'aéronef et le sol en fonction de la trajectoire prédite et des données de terrain avoisinant cette trajectoire. Le système comporte des moyens pour afficher simultanément sur un écran un tracé de la trajectoire prédite (TP) et un symbole de risque de collision (ST1, ST2, ST3) évoquant la nature du risque encouru, le symbole de risque étant localisé sur l'écran, par rapport au tracé de trajectoire prédite, à une position qui correspond à la position relative réelle, par rapport à la trajectoire prédite, d'un obstacle engendrant ce risque.



### UNIQUEMENT A TITRE D'INFORMATION

Codes utilisés pour identifier les Etats parties au PCT, sur les pages de couverture des brochures publiant des demandes internationales en vertu du PCT.

AL	Albanie	ES	Espagne	LS	Lesotho	SI	Slovénie
AM	Arménie	FI	Finlande	LT	Lituanie	SK	Slovaquie
AT	Autriche	FR	France	LU	Luxembourg	SN	Sénégal
AU	Australie	GA	Gabon	LV	Lettonie	SZ	Swaziland
AZ	Azerbaïdjan	GB	Royaume-Uni	MC	Monaco	TD	Tchad
BA	Bosnie-Herzégovine	GE	Géorgie	MD	République de Moldova	TG	Togo
BB	Barbade	GH	Ghana	MG	Madagascar	TJ	Tadjikistan
BE	Belgique	GN	Guinée	MK	Ex-République yougoslave de Macédoine	TM	Turkménistan
BF	Burkina Faso	GR	Grèce			TR	Turquie
BG	Bulgarie	HU	Hongrie	ML	Mali	TT	Trinité-et-Tobago
BJ	Bénin	IE	Irlande	MN	Mongolie	UA	Ukraine
BR	Brésil	IL	Israël	MR	Mauritanie	UG	Ouganda
BY	Bélarus	IS	Islande	MW	Malawi	US	Etats-Unis d'Amérique
CA	Canada	IT	Italie	MX	Mexique	UZ	Ouzbékistan
CF	République centrafricaine	JP	Japon	NE	Niger	VN	Viet Nam
CG	Congo	KE	Kenya	NL	Pays-Bas	YU	Yougoslavie
CH	Suisse	KG	Kirghizistan	NO	Norvège	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	République populaire démocratique de Corée	NZ	Nouvelle-Zélande		
CM	Cameroun			PL	Pologne		
CN	Chine	KR	République de Corée	PT	Portugal		
CU	Cuba	KZ	Kazakhstan	RO	Roumanie		
CZ	République tchèque	LC	Sainte-Lucie	RU	Fédération de Russie		
DE	Allemagne	LI	Liechtenstein	SD	Soudan		
DK	Danemark	LK	Sri Lanka	SE	Suède		
EE	Estonie	LR	Libéria	SG	Singapour		

## SYSTEME D'AIDE A L'EVITEMENT DE COLLISIONS D'AERONEFS AVEC LE TERRAIN

L'invention concerne l'aide au pilotage d'aéronefs, et notamment l'aide à l'évitement de collisions avec le terrain.

Cette invention apporte aux équipages d'avion les moyens d'anticiper les problèmes de conflit entre la trajectoire de l'avion et le terrain, en prenant en compte principalement la configuration du terrain au voisinage de l'aéronef, mais accessoirement aussi la présence d'autres éléments (autres aéronefs, zones météo défavorables, etc.).

On dispose actuellement de bases de données de terrain très complètes, embarquées dans les avions ; on dispose aussi de moyens de positionnement précis de l'aéronef à tout instant (récepteurs GPS, etc.) ; et on dispose enfin de moyens de traitement de ces deux sources d'information pour les mettre en relation l'une avec l'autre et déterminer des risques de conflits.

Classiquement, pour accomplir des fonctions d'aide à l'évitement de collisions, les bases de données terrain sont découpées en cellules dont l'altitude uniforme est l'altitude du point de terrain le plus élevé de la cellule. Les cellules ne sont pas toutes de la même dimension : plus l'avion est bas, plus les cellules sont petites ; s'il y a un aérodrome, les cellules sont plus petites que s'il n'y en a pas. La dimension des cellules varie typiquement de 15 minutes d'arc (région toujours survolée en haute altitude) à 3 secondes d'arc (près d'une piste d'atterrissage).

Les systèmes existant pour l'aide à l'évitement de collisions utilisent la hauteur radio-sonde, la trajectoire instantanée de l'avion, sa position, et la base de données terrain. Ils fournissent une alarme lorsque la séparation avec le terrain devient insuffisante compte tenu de la trajectoire de l'aéronef. L'alerte est donnée par exemple 60 secondes avant la collision théorique. Le système ne donne pas d'alerte plus longtemps en avance pour ne pas perturber l'équipage alors que l'obstacle se situe peut-être à un endroit que le pilote a de toutes façons des raisons d'éviter.

D'autres systèmes présentent sur un écran la configuration du

relief du terrain tel qu'il est décrit dans la base de données; le terrain peut être représenté en plan avec des cellules colorées différemment selon leur altitude, soit par rapport à un niveau de référence du sol, soit par rapport au niveau d'altitude actuelle de l'avion (par exemple coloration en rouge de cellules dont la différence d'altitude par rapport à l'avion est trop faible), soit encore par rapport au plan de descente instantanée de l'avion (par exemple coloration en rouge de cellules dont la différence d'altitude par rapport à l'avion, lorsque l'avion passera au dessus de cette cellule, est supérieure à celle de l'avion). Le terrain peut aussi être représenté en élévation latérale, sous forme de profil d'altitude des cellules successives situées sur la trajectoire de l'avion. Enfin, le terrain peut être représenté en trois dimensions ; l'image présentée est alors celle que verrait un pilote à travers le pare-brise ou celle que verrait un observateur suivant l'avion en restant au dessus et en arrière de lui.

Chacune de ces représentations de terrain peut être mise en défaut en fonction du centre d'intérêt du pilote :

- si le pilote doit entreprendre un demi-tour et descendre, une représentation du terrain en vue de dessus (quel que soit l'angle de coupe du terrain) ne permettra pas de représenter le terrain d'une manière intéressante pour le pilote ;

- si le pilote veut apprécier sa marge de navigation latérale par rapport au terrain, une coupe latérale ou vue de côté ne donnera aucun enseignement.

Pour éviter ces inconvénients, l'invention propose un système d'aide au pilotage d'aéronef, comprenant des moyens pour calculer une trajectoire prédite de l'aéronef à partir de son point de localisation actuel, une base de données de terrain comprenant des informations de position et d'altitude de terrain, et des moyens pour déterminer qu'il y a un risque élevé de collision entre l'aéronef et le sol en fonction de la trajectoire prédite et des données de terrain avoisinant cette trajectoire, caractérisé en ce que le système comporte des moyens pour afficher simultanément sur un écran un tracé de la trajectoire prédite et un symbole de risque de collision évoquant la nature du risque encouru, le symbole de risque étant localisé sur l'écran, par rapport au tracé de trajectoire prédite, à une position qui correspond à la position relative réelle, par rapport à la trajectoire prédite, d'un obstacle de

sol engendrant ce risque.

L'affichage de ce symbole sur le tracé de trajectoire prédite ou à proximité de ce tracé peut se faire sur une vue en plan ou sur une élévation latérale, ou sur les deux à la fois. Une représentation en trois dimensions est possible aussi bien qu'elle offre moins d'intérêt.

Le système affiche de préférence sur le même écran non seulement la trajectoire prédite de l'aéronef, calculée à partir de la position actuelle, des données de vitesse de l'aéronef, et des modes engagés et armés du pilote automatique, mais aussi la trajectoire théorique de l'aéronef (c'est-à-dire son plan de vol). Le risque de collision est déterminé également par rapport à cette trajectoire théorique.

Le symbole de risque de collision avec le terrain peut avoir une forme, une dimension, une couleur et/ou un contour variables en fonction des conditions qui ont conduit à son affichage, mais il s'agit bien d'un symbole de risque et non une représentation plus ou moins schématique de la configuration réelle du terrain.

De préférence, l'affichage est interactif en ce sens que le système comprend des moyens pour désigner sur l'écran un symbole de risque de collision affiché, et des moyens pour afficher, en réponse à cette désignation, des informations supplémentaires sur les risques de collision associés à ce symbole.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée qui suit et qui est faite en référence aux dessins annexés dans lesquels :

- la figure 1 représente une vue d'écran associé au système selon l'invention, la vue étant une vue de dessus ;

- la figure 2 représente une vue d'écran représentant une élévation latérale le long de la trajectoire prédite de l'avion ;

- la figure 3 représente une vue d'écran analogue à la figure 1, sur laquelle une information supplémentaire, liée à un symbole de terrain particulier, est affichée ;

- la figure 4 représente une vue de face explicitant une information supplémentaire liée au symbole de terrain particulier.

La figure 1 représente un exemple d'écran tel qu'il apparaîtrait selon l'invention au cours d'une navigation prévue avec un plan de vol prédéterminé PV, représenté par une ligne brisée en traits pleins mais à un instant où l'avion s'est écarté de ce plan de vol théorique et suit une  
5 trajectoire prédite TP représentée ici par une droite en traits pointillés.

L'avion est supposé voler ici en pilotage automatique, en mode de maintien de cap; la trajectoire prédite TP est donc représentée par une droite verticale coupant un secteur circulaire gradué en cap, le point d'intersection entre la trajectoire prédite et le secteur gradué représentant le  
10 cap imposé à l'avion par le calculateur de bord.

Un symbole d'avion AV, au centre du secteur gradué, représente la position actuelle de l'avion sur sa trajectoire prédite. Le secteur gradué, le symbole avion, et la trajectoire prédite restent globalement à une position fixe sur l'écran, mais le secteur gradué tourne autour de son centre lorsque  
15 l'avion tourne. La position de l'avion et sa trajectoire prédite sont la référence géographique par rapport à laquelle des symboles de terrain seront représentés sur cet écran.

D'autres indications de navigation peuvent apparaître sur l'écran, telles que la dénomination des appareils utilisés à cet instant pour  
20 déterminer la position de l'avion, la durée écoulée du vol, les "waypoints" (points de référence de navigation), etc.

Des symboles de relief de terrain ST1, ST2, ST3, spécifiques de la présente invention, sont représentés en divers points de l'écran, mais seulement si le calculateur de bord détermine qu'il faut les représenter en  
25 raison des risques élevés qu'ils représentent. Une absence de risque entraînera une absence de représentation de symbole, quelle que soit l'altitude du relief survolé par l'avion.

Les symboles de terrain sont localisés sur l'écran à une position qui représente, ici en coordonnées polaires par rapport au symbole avion AV et à la trajectoire prédite TP, la position géographique réelle du relief à  
30 risque. L'angle formé sur l'écran entre d'une part la trajectoire prédite et d'autre part l'axe reliant le symbole avion au symbole de relief, correspond au gisement (en vue de dessus) du relief à risque par rapport à l'avion à l'instant de l'affichage. La distance entre le symbole avion et le symbole de  
35 relief représente la distance estimée entre l'avion et le relief à risque.

L'écran est de préférence gradué non seulement en ce qui concerne le cap (première coordonnée polaire), mais aussi en ce qui concerne les distances. Par exemple deux cercles de distance CD1 et CD2 sont tracés concentriquement au secteur gradué en cap, et sont affectés  
5 chacun d'une valeur de distance prédéterminée, exprimée de préférence en miles nautiques. Par exemple le cercle CD1 exprime une distance de 25 miles, et le cercle CD2 une distance de 37,5 miles. Ces distances sont affichées sur ces cercles pour que le pilote ait une compréhension instantanée de la localisation géographique des reliefs à risques affichés par  
10 le calculateur de bord.

Cependant, la graduation en distances n'est pas nécessairement constante au cours des diverses phases de vol, les graduations pouvant être séparées de plusieurs dizaines de miles en phase de vol de croisière et seulement de quelques miles ou fractions de miles en phase d'approche  
15 d'aérodrome, l'importance des risques et des mesures de correction à prendre étant plus critique en phase d'approche.

Dans l'exemple représenté, un symbole de terrain ST1 indiquant un relief à risque est affiché directement sur la trajectoire prédite de l'avion, et deux symboles ST2 et ST3 sont affichés l'un à gauche, l'autre à droite de  
20 la trajectoire. Le symbole ST3, dans cet exemple, est situé entre la trajectoire prédite et le plan de vol prédéterminé PV.

De même que le calculateur affiche des symboles de terrain uniquement lorsqu'il détermine qu'un risque de collision avec le terrain existe (on reviendra plus loin sur les facteurs de décision d'existence de  
25 risque), on prévoit aussi qu'il affiche des symboles de risque de collision avec d'autres aéronefs. Un tel symbole CA de risque de collision avion est représenté également sur la trajectoire prédite. Cela suppose bien sûr que l'avion soit équipé de moyens pour connaître la position des aéronefs qui l'entourent, que ces moyens soient des radars ou un système radio de  
30 communication directe entre avions, par lequel les avions se communiquent automatiquement leur position, dans un format normalisé directement utilisable par le calculateur de bord. Le symbole CA de collision avion est représenté là encore sur l'écran à une position qui représente, en coordonnées polaires, la position relative de l'aéronef à risque par rapport à  
35 l'avion, et seulement si le risque est élevé.

Cette représentation de la figure 1 est déjà à elle seule une indication précieuse et parlante pour le pilote. Cependant elle peut être complétée par d'autres éléments d'information.

Tout d'abord, on prévoit de préférence que le calculateur affiche également une représentation en élévation latérale du symbole avion, de sa trajectoire prédite, et des symboles de risque de relief de terrain et risque de collision avion. Cette représentation peut être simultanée avec la première, par exemple sous forme d'une portion d'écran (ou d'un écran juxtaposé au premier) réservée à l'élévation latérale. Par exemple, la vue en élévation latérale est placée juste au dessous de la vue en plan. Ou bien, elle apparaît sur l'écran à la place de la vue en plan, sur interrogation du pilote.

La figure 2 représente une telle représentation en élévation dans une surface verticale passant par la trajectoire prédite (plan vertical pour une trajectoire linéaire). Dans cet exemple, la trajectoire prédite TP', qui correspond à l'élévation latérale de la trajectoire TP de la figure 1, est une droite de descente, en phase d'approche d'aérodrome. Le symbole avion est désigné par AV'. Une graduation verticale en altitude est représentée ; une graduation horizontale en distance ou temps de vol pourrait être représentée également ; le symbole avion AV' est de préférence fixe en position verticale et horizontale, la graduation d'altitude défilant si l'avion change d'altitude (l'altitude réelle est donnée au calculateur par les instruments de bord). Les symboles de terrain, affichés par le calculateur en cas de risque, défilent latéralement de la droite vers la gauche au fur et à mesure que les risques se rapprochent.

Seuls les risques de terrain qui sont, à un instant donné, situés sur la trajectoire prédite de l'avion (avec une certaine marge bien entendu) sont affichés en élévation verticale. Dans cet exemple, le relief correspondant au symbole ST1 de la figure 1 est situé sur la trajectoire de l'avion. Il représente un risque parce que ce relief se situe à une altitude correspondant à la trajectoire de l'avion. Il est représenté, à l'altitude qu'il occupe dans la réalité, par le symbole ST'1 sur la figure 2. Si l'avion n'était pas en phase de descente, ce relief ne représenterait pas de risque : il ne serait pas affiché ni sur la figure 2 ni sur la figure 1.

On entrera plus loin dans la notion d'appréciation des risques, mais on peut remarquer déjà à propos de la figure 2 que le calculateur



affiche un risque de collision avion (symbole CA' correspondant au symbole CA de la figure 1) bien que la trajectoire de descente ne coupe pas l'altitude de l'aéronef à risque. Mais, du fait de la présence d'un conflit entre la trajectoire prédite et le terrain, la trajectoire de descente peut être interrompue et l'aéronef à risque peut aussi changer d'altitude, ce qui implique que le risque est réel.

Les symboles ST2 et ST3 de la figure 1 ne sont pas repris sur la figure 2 parce qu'ils sont latéralement suffisamment écartés de la trajectoire. Il est préférable que le pilote ne les voie pas se superposer sur l'élévation latérale où ils diminueraient l'intelligibilité de la représentation. Toutefois, si l'avion entreprend un changement de cap qui le rapproche par exemple du symbole ST3 en l'éloignant du symbole ST1, le symbole ST3 pourra apparaître sur la figure 2 et le symbole ST1 pourra disparaître.

Etant donné que la représentation selon l'invention est une représentation à la fois complète mais très simplifiée des risques élevés de collision avec le terrain, il est préférable que le pilote ait la possibilité d'obtenir des renseignements supplémentaires sur les risques signalés.

Ces informations seront de préférence obtenues en déplaçant un curseur mobile sur l'écran vers un symbole de terrain, et en "cliquant" sur ce symbole, pour lancer un programme d'affichage d'informations supplémentaires liées à ce symbole.

Par exemple, en cliquant sur le symbole ST3, situé à droite de l'avion, on peut faire apparaître un écran, presque identique à celui de la figure 1 mais montrant une information supplémentaire qui est une trajectoire TS possible de l'avion dans le cas où le pilote déciderait de rejoindre le plan de vol PV. En même temps ou séparément, l'écran peut afficher sur sa partie basse une nouvelle image, représentée à la figure 4, qui est une représentation en vue de face, graduée en altitude, avec un symbole d'avion (AV'') et une représentation du relief du terrain en cellules de différents niveaux d'altitude, avec une indication du fait que le terrain dépasse l'altitude maximum que peut survoler l'avion compte-tenu de son altitude actuelle.

Dans ce qui précède, on a supposé que l'avion volait en pilotage automatique en mode de maintien de cap. L'invention s'applique aussi à d'autres modes de pilotage automatique ainsi qu'en pilotage manuel.

En pilotage manuel, le calculateur de bord calculera la trajectoire prédite à partir des données instantanées de vitesses, et cap de l'avion. Cette trajectoire sera en principe une droite comme en mode de maintien de cap.

- 5            Dans d'autres modes de pilotage automatique, la trajectoire prédite représentée sur l'écran ne sera pas nécessairement une droite. Par exemple, dans un mode particulier, l'avion doit rejoindre une trajectoire de plan de vol sur laquelle il n'est pas actuellement. Le calculateur sera "armé" sur le mode "navigation" pour rejoindre le plan de vol ; lorsqu'il aura rejoint  
10 la trajectoire de plan de vol, il passera en mode "navigation effective" et suivra une trajectoire qui est le plan de vol.

- Dans ce cas, la trajectoire prédite inclut la trajectoire de rattrapage (Pilote automatique en mode maintien de cap) et une portion du plan de vol qui sera suivi car le pilote automatique passera en mode  
15 navigation.

- Dans la première partie, le calculateur élabore une trajectoire pour rejoindre le plan de vol. C'est cette trajectoire de rattrapage qui sera affichée sur l'écran comme trajectoire prédite, par rapport à laquelle les risques seront calculés et les symboles de terrain affichés ou non affichés.  
20 Cette trajectoire n'a pas de raison d'être une droite ; elle peut comporter des segments brisés ou des courbes. Dans la deuxième partie, après que l'avion aura rejoint son plan de vol ou un plan alternatif (dans le cas où il a quitté un premier plan de vol pour rejoindre un autre), la trajectoire prédite sera le plan de vol, représenté par exemple comme le plan de vol PV de la figure 1,  
25 avec un symbole avion placé sur ce plan de vol.

- De même, en mode "armé" sur "localizer", le pilote automatique prépare l'avion à recevoir un faisceau électromagnétique d'un équipement au sol appelé "localizer" ou "LOC"; il établit une trajectoire prédite, droite ou courbe, vers une zone où l'appareil de signalisation appelé "localizer" émet  
30 un signal radio de localisation. Les symboles avion seront affichés en calculant les risques par rapport à cette trajectoire. Lorsque l'avion aura atteint la zone de réception radio, le pilote automatique passera en mode "localizer effectif" ; le système calculera la trajectoire prédite à partir des informations radio reçues. La trajectoire prédite incluera, avant interception  
35 de l'axe loc, une partie de cet axe. C'est par rapport à cette trajectoire que

les risques seront calculés et affichés s'ils sont élevés.

Le système prendra également en compte les modes verticaux du pilote automatique. Par exemple un de ces modes est classiquement "level change" dans lequel une trajectoire de montée (ou descente) est prise  
5 jusqu'à ce qu'une altitude de consigne soit atteinte. Dans ce cas le système prévoira la cassure dans le plan vertical, au moment où l'altitude de consigne sera atteinte.

On comprendra donc que le système utilise pour afficher le symbole de risque non seulement la trajectoire prédite instantanée mais  
10 aussi la trajectoire théorique calculée.

D'une manière générale, pour déterminer si le risque est suffisamment élevé pour être affiché sur l'écran, on essaiera de trouver des critères. Les critères dépendent bien entendu des applications (civiles, militaires, pour petits avions, pour gros avions, en tenant compte de  
15 législations locales ou non, etc.).

A titre d'exemple, on peut imaginer qu'un critère est la possibilité pour l'avion de faire demi-tour à tout moment. C'est la raison par exemple de l'affichage du symbole ST2 sur la figure 1. Si l'avion suit sa trajectoire il reste éloigné du relief de terrain et le risque ne devrait pas être affiché pour cette  
20 seule raison. Mais si on veut laisser à l'avion la possibilité de faire demi-tour à tout moment, et compte-tenu du fait qu'il ne peut pas faire demi-tour par la droite du fait de la présence d'un autre relief à droite, le calculateur affichera le symbole ST2. En cliquant sur ce symbole, le pilote pourrait d'ailleurs en avoir confirmation par l'apparition sur l'écran d'une trajectoire de demi-tour  
25 qui passerait sur ce symbole.

Le calculateur peut prendre en compte d'autres éléments que le relief de terrain pour aboutir à la nécessité de représenter un symbole de risque élevé de collision terrain. Par exemple, la présence d'une zone météo défavorable empêchant de faire demi-tour par la droite peut engendrer  
30 l'apparition d'un symbole de terrain sur la gauche, alors que le risque lié au terrain serait en d'autres circonstances faible : l'avion a normalement la possibilité de faire demi-tour par la droite, mais ne l'a plus à cause de la zone météo. Le symbole de météo défavorable apparaîtra sur la droite en complément du symbole de terrain sur la gauche. Ceci veut dire que le  
35 système a augmenté la marge de calcul de risque en raison de la présence

de cette zone météo.

D'une manière générale, on utilisera quand on le peut les informations suivantes pour élaborer les critères de risques de collision avec le terrain :

5                   - modes engagés au pilote automatique et valeurs de consignes associées (par exemple mode de maintien de cap engagé, avec valeur du cap de consigne) ;

                  - plan de vol présent et actif dans le FMS ("Flight Management System" : Système de Gestion de Vol) ;

10               - existence d'un plan de vol alternatif dans le FMS

                  - position de l'avion calculée par le FMS ;

                  - altitude donnée par les instruments de bord

                  - trajectoire instantanée (vitesses instantanées selon trois axes)

15               - état d'engagement du pilote automatique et du FMS

D'autres informations peuvent être prises en compte : situation du trafic environnant ; perturbations météo.

En pratique, le calculateur prendra en compte quatre types possibles de trajectoires prédites :

20               - trajectoire instantanée quand le pilote automatique n'est pas engagé ;

                  - trajectoire prédite linéaire quand le pilote automatique est engagé mais non dirigé par le FMS (vol hors du plan de vol) ;

                  - plan de vol actif au FMS dans tous les cas ;

25               - en option, les plans de vol alternatifs.

En fonction de la phase de vol (navigation, approche) et de la situation de l'avion, d'autres trajectoires pourront ponctuellement être prises en compte pour le calcul et l'affichage des risques, par exemple :

30               - en phase d'approche finale le terrain situé derrière la piste d'atterrissage peut encore représenter une menace si l'équipage décide de remettre les gaz. Ainsi, une trajectoire initiée à la hauteur de décision au taux minimal de montée avec un moteur en moins (prescription de la réglementation) pourra être considérée pour afficher un symbole de terrain à un endroit où la marge de séparation serait réduite.

35               - en phase de décollage une trajectoire initiée en bout de piste au

taux de montée minimal avec un moteur en panne (prescription de la réglementation) pourra être considérée pour afficher un symbole de terrain à un endroit où la marge de séparation serait réduite.

- lorsque le plan de vol du FMS n'est plus suivi, et que par exemple le pilote réalise lui-même les affichages du pilote automatique, le système considère l'aire comprise entre la trajectoire du plan de vol et la trajectoire prédite et identifie la séparation entre cette aire et le terrain.

Ces trajectoires seront prises en compte par le système avec des marges latérales et verticales. Ainsi, le système considérera qu'une trajectoire n'est pas définie comme un fil, mais comme un tube de section rectangulaire. La section de ce tube tiendra compte de marges qui dépendront de :

- la précision de la localisation fournie par le FMS,
- l'erreur d'altitude,
- la phase de vol : par exemple, en approche finale, l'avion est censé suivre un profil de descente fixe. De plus il est naturel que l'avion réduise sa séparation avec le terrain. Il n'est donc pas nécessaire de prendre une marge verticale. Par contre, en approche intermédiaire, l'équipage peut recevoir à tout instant un ordre du contrôle aérien de descendre vers un palier inférieur. Une marge verticale sera donc prise en compte pour générer des symboles de moindre priorité mais pouvant cependant avertir l'équipage de la conséquence néfaste que pourrait avoir une descente à certains endroits.

Le présent système peut également prendre en compte d'autres "menaces" pour améliorer le diagnostic et ajuster les marges latérales et/ou verticales. Par exemple, l'équipement anticollision TCAS (Traffic Collision Avoidance System) peut fournir au présent système la position et la trajectoire instantanée de certains avions partageant l'espace aérien. Bientôt ce genre d'information pourra être fournie de façon plus complète par le système anticollision radioélectrique l'ADS-B (Automatic Dependant Surveillance Broadcast).

Ainsi, le présent système pourra effectuer, le long des trajectoires mentionnées ci-dessus, une vérification de la marge de séparation de l'avion avec les autres avions, en priorité aux endroits où la séparation avec le terrain est minimale. De même, le système considérera des marges plus

importante avec le terrain aux endroits où une séparation minimale avec un autre avion est prévue.

Le système pourra ainsi présenter à l'équipage un symbole de trafic, associé au symbole de terrain, pour indiquer la conjugaison prédite de  
5 deux menaces.

Lorsque l'avion suit la trajectoire prédite, il ne sera pas nécessaire de refaire en permanence tous les calculs de protection. D'un autre côté, certains cycles de calcul pourront être plus "chargés". Le système gèrera donc le temps disponible pour les calculs en ajustant l'horizon de temps  
10 considéré pour les prédictions. Ainsi, de base, le système ne couvrira que 5 minutes de vol, mais en fonction des ressources disponibles il augmentera sa couverture.

La protection du plan de vol sera réalisée sur l'ensemble du plan de vol, en tâche de fond. Lorsque l'équipage changera son plan de vol, le  
15 système couvrira les cinq premières minutes immédiatement et le reste du plan de vol sera couvert en tâche de fond.

En sortie, le système enverra vers les systèmes d'affichage :

- la prédiction de trajectoire si le FMS ne dirige pas le pilote automatique : soit manuelle, soit automatique.
- 20 - les coordonnées des symboles terrain à présenter et le type de symbole.
- l'identification de la trajectoire relative à chaque symbole.
- les marges latérales et verticales prédites à ces endroits par rapport au terrain.
- 25 - le temps de vol jusqu'à chaque symbole.
- les coordonnées de symboles de trafic à présenter et l'identification des avions correspondants.
- les coordonnées des symboles météo ayant été pris en compte pour le calcul des marges.

30 Ces informations ne sont pas toutes affichées directement sur l'écran, mais le pilote peut les obtenir sur demande.

Le type de symbole affiché peut dépendre des différents cas provoquant une détection de conflit. On pourra par exemple utiliser la classification suivante:

- 35 - une trajectoire considérée, à la précision de localisation près,

intercepte le sol : cas le plus sérieux.

- une déviation latérale ou (exclusif) une déviation verticale (degré de déviation pour chacune dépendant de la phase de vol) provoquerait un conflit avec le sol.

5           - une déviation latérale et une déviation verticale (degré fonction de la phase de vol) provoqueraient un conflit avec le sol.

- une déviation latérale (degré de déviation important pour prendre en compte un conflit "météo") provoquerait un conflit avec le sol.

10           - une déviation verticale (degré de déviation important pour prendre en compte un conflit "trafic") provoquerait un conflit avec le sol.

## REVENDICATIONS

1. Système d'aide au pilotage d'aéronef, comprenant des moyens pour calculer une trajectoire prédite de l'aéronef à partir de son point de localisation actuel, une base de données de terrain comprenant des informations de position et d'altitude de terrain, et des moyens pour  
5 déterminer un risque de collision entre l'aéronef et le sol en fonction de la trajectoire prédite et des données de terrain avoisinant cette trajectoire, caractérisé en ce que le système comporte des moyens pour afficher simultanément sur un écran un tracé de la trajectoire prédite (TP) et un  
10 symbole de risque de collision (ST1, ST2, ST3) évoquant la nature du risque encouru, le symbole de risque étant localisé sur l'écran, par rapport au tracé de trajectoire prédite, à une position qui correspond à la position relative réelle, par rapport à la trajectoire prédite, d'un obstacle de sol engendrant ce risque.
- 15 2. Système selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il affiche un symbole d'une autre apparence s'il existe un risque de collision avec un autre aéronef, le système comprenant alors des moyens pour recevoir des informations sur la position d'autres aéronefs et des moyens pour déterminer un risque de collision avec un autre aéronef.  
20
3. Système selon l'une des revendications 1 et 2, caractérisé en ce qu'il affiche une vue en plan horizontal de la trajectoire prédite.
- 25 4. Système selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce qu'il affiche une vue en élévation latérale de la trajectoire prédite.
5. Système selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce qu'il affiche simultanément sur l'écran un tracé de plan de vol théorique de l'aéronef et calcule les risques par rapport à ce plan de vol.  
30
6. Système selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens pour désigner sur l'écran un symbole de risque de collision, et des moyens pour afficher, en réponse à cette



désignation, des informations supplémentaires sur les risques de collision associés à ce symbole.

1/2

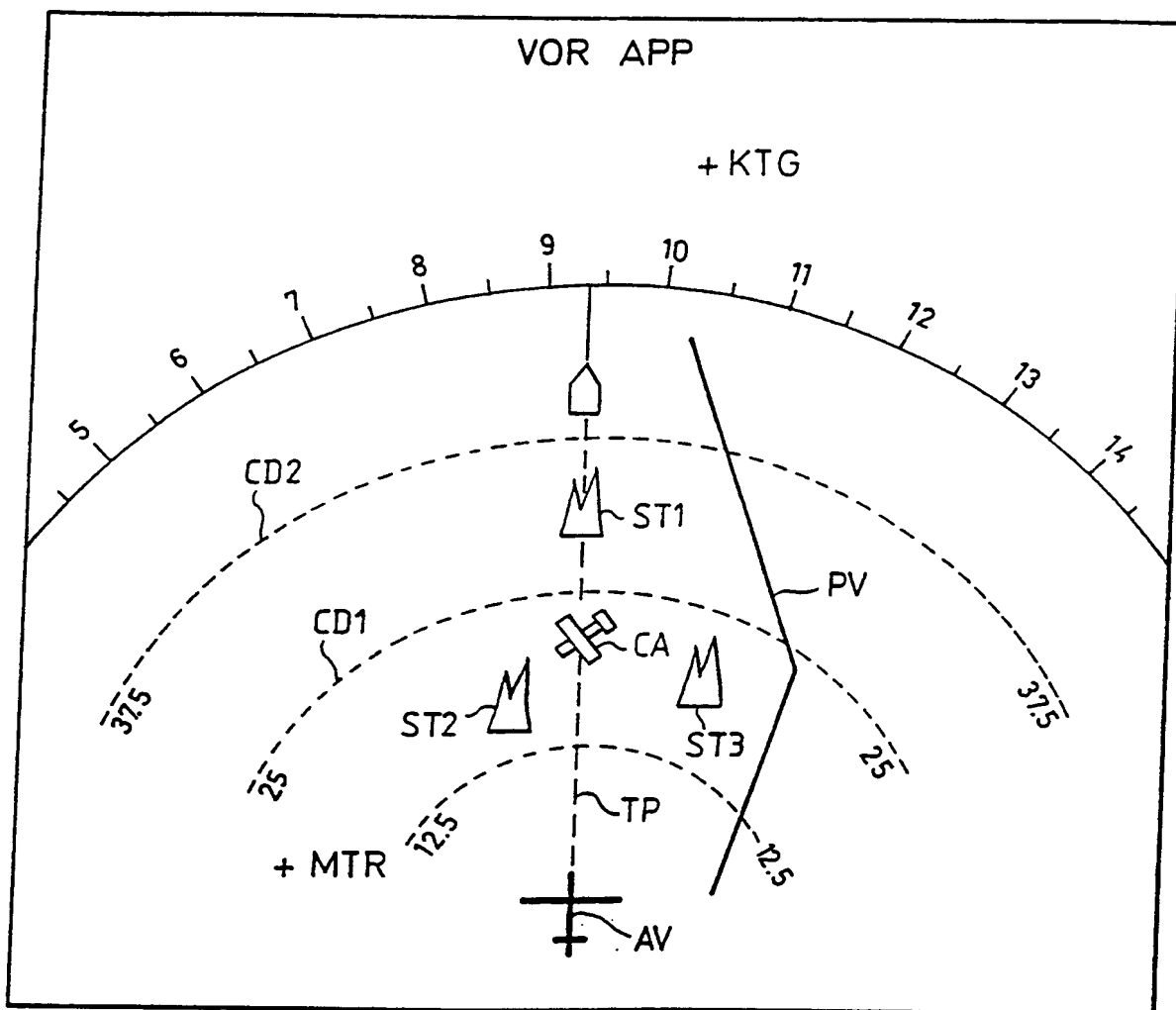


FIG.1

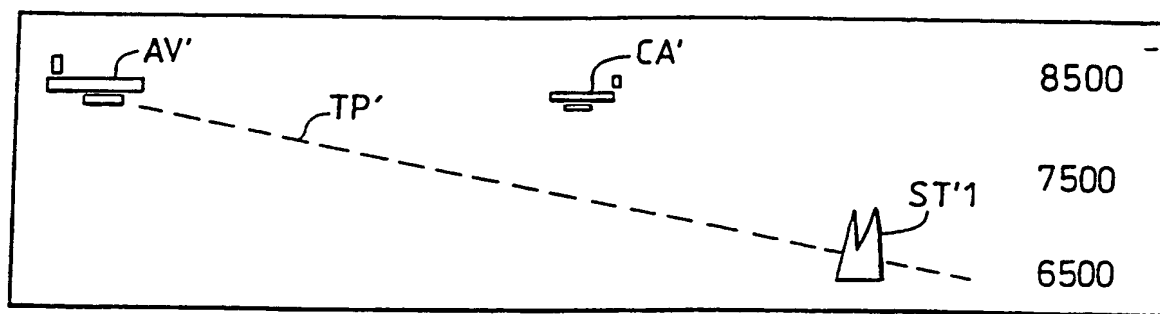


FIG.2

212

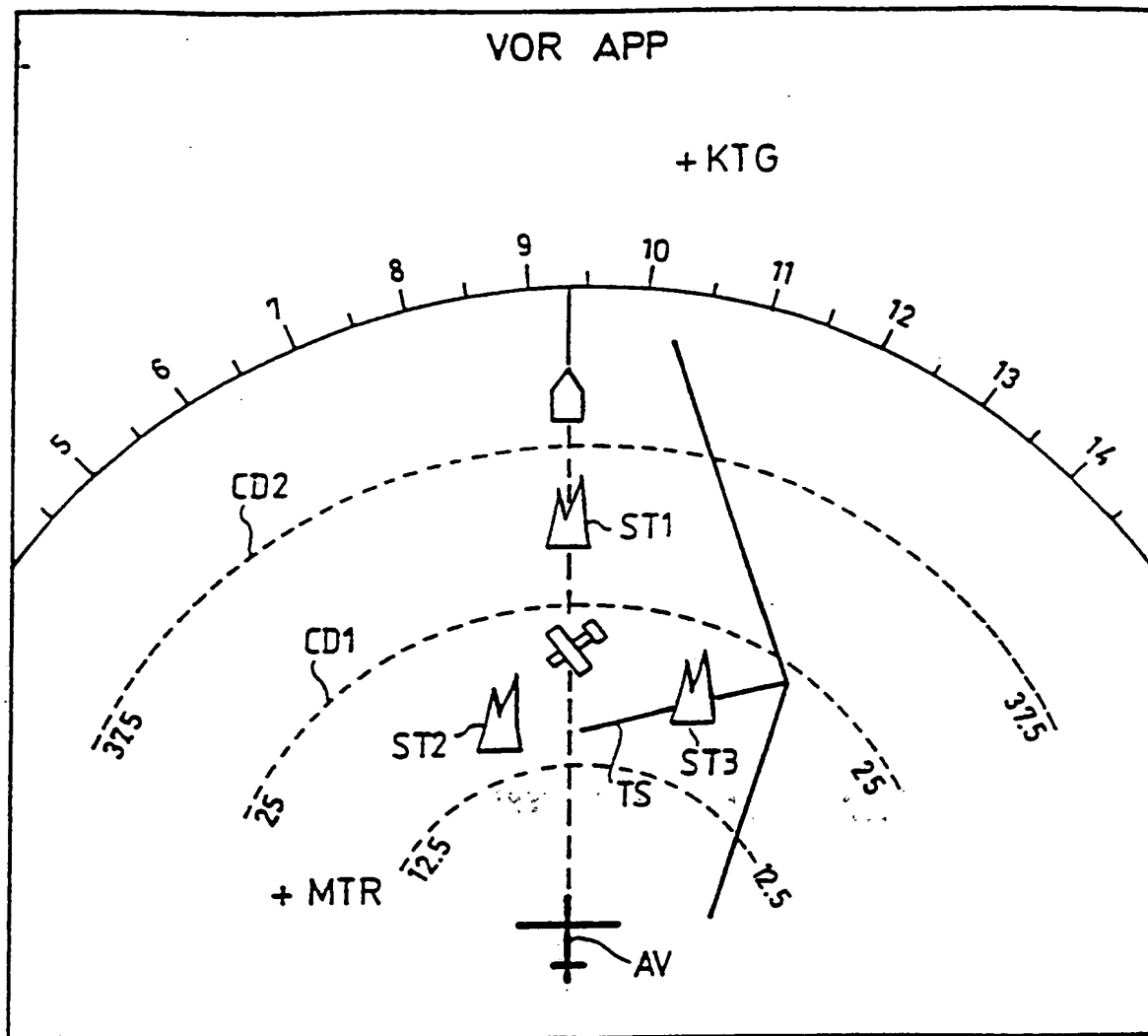


FIG.3

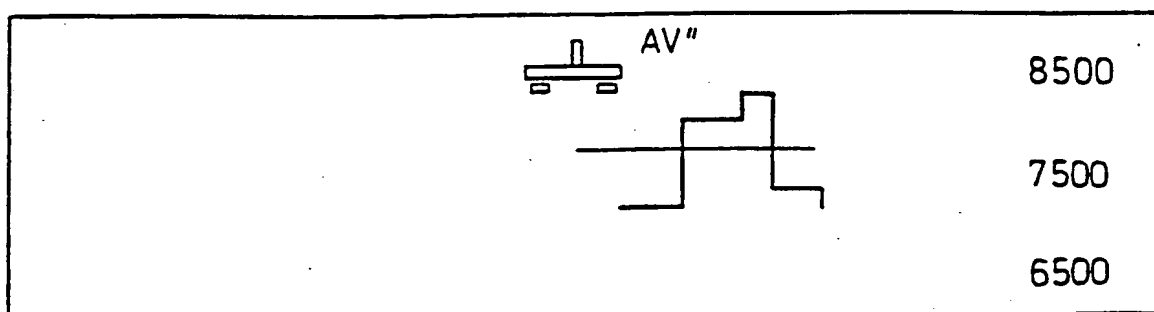


FIG.4

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/FR 99/03186

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 G08G5/04

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 G08G

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	GB 2 322 611 A (BRITISH AEROSPACE) 2 September 1998 (1998-09-02) page 2, line 5 -page 4, line 18 ----	1-6
A	EP 0 688 004 A (SEXTANT AVIONIQUE) 20 December 1995 (1995-12-20) the whole document ----	1-6
A	US 5 638 282 A (LEPERE GERARD ET AL) 10 June 1997 (1997-06-10) column 2, line 56 -column 3, line 38 ----	1-6
A	EP 0 493 822 A (HONEYWELL INC) 8 July 1992 (1992-07-08) page 4, line 51 - line 57 -----	1-6



Further documents are listed in the continuation of box C.



Patent family members are listed in annex.

## \* Special categories of cited documents :

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \* & \* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

10 April 2000

Date of mailing of the international search report

19/04/2000

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Crechet, P

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs

membres de familles de brevets

Internationale No  
PCT/FR 99/03186

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
GB 2322611 A	02-09-1998	AU 6304998 A	18-09-1998
		EP 0965118 A	22-12-1999
		WO 9838619 A	03-09-1998
		NO 994092 A	26-10-1999
EP 0688004 A	20-12-1995	FR 2721130 A	15-12-1995
		CA 2151693 A	15-12-1995
		DE 69512835 D	25-11-1999
		DE 69512835 T	24-02-2000
		JP 8050700 A	20-02-1996
		US 5677842 A	14-10-1997
US 5638282 A	10-06-1997	FR 2689668 A	08-10-1993
		AT 147869 T	15-02-1997
		CA 2093546 A	08-10-1993
		DE 69307377 D	27-02-1997
		DE 69307377 T	03-07-1997
		DK 565399 T	14-07-1997
		EP 0565399 A	13-10-1993
		ES 2099391 T	16-05-1997
		GR 3022297 T	30-04-1997
		JP 6024393 A	01-02-1994
		US 5488563 A	30-01-1996
EP 0493822 A	08-07-1992	US 5179377 A	12-01-1993
		CA 2056030 A	01-07-1992
		DE 69120789 D	14-08-1996
		DE 69120789 T	13-02-1997
		DK 493822 T	11-11-1996
		FI 916039 A	01-07-1992
		IL 100145 A	31-08-1995
		JP 5067300 A	19-03-1993
		NO 914894 A	01-07-1992

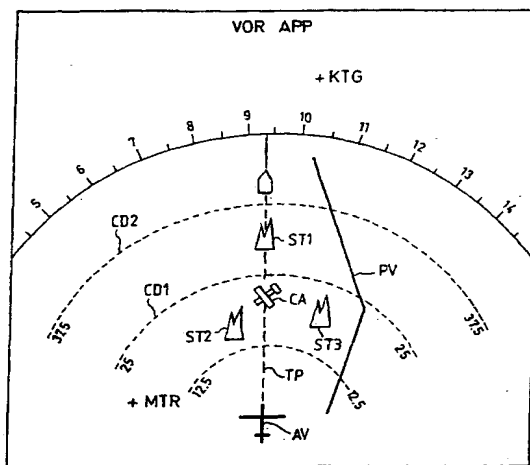
\_\_\_\_\_

**(10) Numéro de publication internationale**  
**WO 00/039775 A3**

**(81) État désigné (*national*) : US.**

*[Suite sur la page suivante]*

**(54) Titre : SYSTEME D'AIDE A L'EVITEMENT DE COLLISIONS D'AERONEFS AVEC LE TERRAIN**



**(S7) Abrégé :** L'invention concerne l'aide au pilotage et à la navigation aérienne. Pour permettre au pilote d'un aéronef d'avoir une appréciation instantanée des risques de collision avec le terrain, on propose un système comprenant des moyens pour calculer une trajectoire prédite de l'aéronef à partir de son point de localisation actuel, une base de données de terrain comprenant

*[Suite sur la page suivante]*

**WO 00/039775 A3**



(84) États désignés (*régional*) : brevet européen (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).

(88) Date de publication du rapport de recherche internationale:

3 octobre 2002

**Publiée :**

— avec rapport de recherche internationale

*En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.*

des informations de position et d'altitude de terrain, et des moyens pour déterminer un risque de collision entre l'aéronef et le sol en fonction de la trajectoire prédite et des données de terrain avoisinant cette trajectoire. Le système comporte des moyens pour afficher simultanément sur un écran un tracé de la trajectoire prédite (TP) et un symbole de risque de collision (ST1, ST2, ST3) évoquant la nature du risque encouru, le symbole de risque étant localisé sur l'écran, par rapport au tracé de trajectoire prédite, à une position qui correspond à la position relative réelle, par rapport à la trajectoire prédite, d'un obstacle engendrant ce risque.